

## Список использованных источников

1. Солдатенко Н.А., Карманов В.В., Ходяшев М.Б. Экологические аспекты утилизации моторных масел в качестве закалочных жидкостей // защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2011. № 7. С. 60–63.
2. Закалочная среда ПК–М. Электронный ресурс. Режим доступа: URL: [http://www.termoobrabotka.com.ua/rus/parts\\_polyterm\\_t.html#link](http://www.termoobrabotka.com.ua/rus/parts_polyterm_t.html#link)
3. Райцес В.Б. Термическая обработка: в помощь рабочему-термисту. М.: Машиностроение, 1980. 192 с.
4. Разработка новой технологии и устройства для термоупрочнения рельсовых накладок / Ю.И. Липунов, К.Ю. Эйсмонтт, Ю.Г. Ярошенко, М.В. Старцева, Е.В Некрасова. Теория и практика тепловых процессов в металлургии: сб. докл. межд. научно-практ. конференции. 18–21 сент. 2012 г. Екатеринбург: УрФУ, 2012. 437 с. (С. 290–295).

### ВЛИЯНИЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОКАТЫШЕЙ В СЛОЕ АГЛОМЕРАТА В БУНКЕРЕ КОМПАКТНОГО БЗУ НА РАВНОМЕРНОСТЬ ИХ ПОСТУПЛЕНИЯ В КОЛОШНИКОВОЕ ПРОСТРАНСТВО ПЕЧИ

Теплых Е.О., Сибгатуллин С.К., Харченко А.С., Махмутов Р.Ф.

*ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный  
технический университет им. Г.И. Носова»,  
г. Магнитогорск, Россия*

Равномерное распределение компонентов шихты по окружности колошника доменной печи и оптимальное по радиусу обеспечивает снижение градиента температур по периферии, повышение степени использования газового потока, вследствие чего уменьшение температур в газоотодах. Это может позволять вести плавку с повышенным перепадом давления газов [1]. Его рост на каждые 10 кПа в условиях ровного схода шихтовых материалов обеспечивает снижение удельного расхода кокса на 8 кг/т чугуна и повышение производительности печи более чем на 2 % [2]. Однако, на печах, оснащенных компактным бесконусным загрузочным устройством (БЗУ) лоткового типа возникают сложности в обеспечении равномерного окружного распределения материалов [3; 4]. Это связано с многокомпонентностью используемой шихты.

На равномерность поступления материалов в колошниковое пространство печи в значительной степени влияет расположение компонентов шихты в бункере БЗУ относительно друг друга. Для выявления рационального режима загрузки шихты в доменную печь провели серию опытов на физической модели однотрактового компактного загрузочного устройства лоткового типа, изготовленной в масштабе 1:5 по отношению к линейным размерам БЗУ доменных печей № 2, 4, 6 ОАО «ММК» [5; 6].

Исследовали влияние расположения окатышей в слое агломерата при изменении их доли от общего количества железорудных материалов.

Для определения воздействия этих факторов на равномерность распределения компонентов шихты применили планирование эксперимента [7]. При составлении матрицы планирования использовали полный двухфакторный план с варьированием на трех уровнях.

В качестве выходного параметра использовали коэффициент равномерности поступления компонентов шихты из бункера БЗУ:

$$K_{\text{кш}} = 1 - \frac{\sigma_i}{K_{\text{ш}}_{\text{ср}}}, \quad (1)$$

где  $\sigma_i$  – среднеквадратическое отклонение по массе  $i$ -тых порций компонентов шихты, поступающих из бункера;

$K_{\text{ш}}_{\text{ср}}$  – среднее значение поступающих из бункера порций шихты, по массе.

Для математического описания выходного параметра от указанных факторов выбрано уравнение:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_{12} + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_3x_1x_2^2 + b_4x_2x_1^2 + b_5x_1^2x_2^2, \quad (2)$$

где  $x_1, x_2$  – факторы, влияния которых на параметр исследуются;

$b$  – коэффициенты уравнения регрессии.

В процессе эксперимента в бункер БЗУ загружали агломерат и окатыши. Окатыши располагали под агломератом, в среднем его слое и над ним. Варьируя долю окатышей по отношению к общему количеству железорудных материалов в интервале от 10 до 50 %, оставляя неизменным общее количество загружаемых в бункер материалов, производили их выпуск в колошниковое пространство печи. По ходу выпуска отбирали пробы и отделяли материалы друг от друга. Определяли долю каждого материала по мере их истечения и затем по формуле (1) рассчитывали коэффициент равномерности поступления компонентов шихты из бункера БЗУ.

В ходе эксперимента было соблюдено равенство критерия Ньютона для реальной печи ( $N_{дп}$ ) и модели ( $Ne_M$ ):

$$Ne = \frac{F \times \tau_{\Pi}^2}{M_{\Pi} \times L}, \quad (3)$$

где  $M_{\Pi}$  – масса, поступающей шихты из бункера БЗУ, кг;

$L$  – расстояние, на которое перемещаются материалы, м;

$\tau_{\Pi}$  – время, за которое происходит перемещение на расстояние  $L$ , с;

$F$  – сила тяжести материала, Н.

Каждый эксперимент дублировали, после чего находили дисперсию каждого опыта. Затем по критерию Кохрена определяли однородность данного ряда дисперсий.

Обработкой экспериментальных данных определены коэффициенты уравнения (2), значимость которых оценили по критерию Стьюдента.

Коэффициент равномерности поступления компонентов шихты из бункера БЗУ для проведенных экспериментов описывается следующим полиномом:

$$Y = 0,66 + 0,24A - 0,1O, - 0,17AOK - 0,42A^2 - 0,06OK^2 - \\ - 0,01A,0^2 + 0,18O,1^2 + 0,05A^2OK^2 \quad (4)$$

где  $A$  – доля агломерата, располагающаяся под окатышами в шихтовом бункере БЗУ, %;

$OK$  – доля окатышей от железорудной части шихты, %;

В полученном уравнении все факторы представлены в кодированной форме и изменяются от  $-1$  до  $1$ . Зависимости коэффициента равномерности от исследованных факторов приведены на рис. 1, 2.

Согласно рис. 1 наиболее высокий коэффициент равномерности поступления компонентов шихты из бункера БЗУ в колошниковое пространство печи, равный  $0,77$  обеспечивается следующей загрузкой: вниз 68 % агломерата, затем окатыши в количестве 10 % от железорудной части шихты, после чего оставшиеся 32 % агломерата. При загрузке в бункер 10 и 30 % окатышей равномерность поступления компонентов шихты снижается. В значительной степени это связано с менее равномерным выходом агломерата. Однако в условиях расположения окатышей в нижней части бункера под агломератом увеличение их доли способствует повышению коэффициента равномерности поступления их в колошниковое пространство печи (рис. 2).

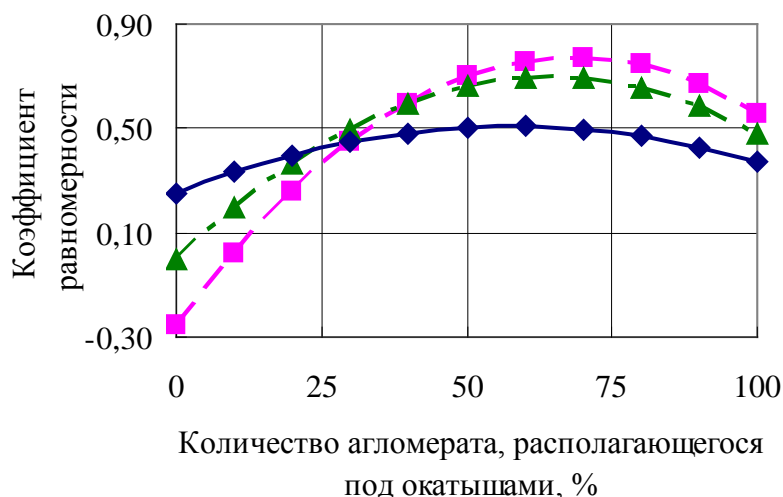


Рис. 1. Зависимость равномерности поступления компонентов шихты из бункера БЗУ от доли агломерата, располагающегося под окатышами, при доле окатышей от железорудной части шихты 10 % (—■—), 30 % (—▲—) и 50 % (—◆—) по массе

Расположение окатышей в верхней части бункера БЗУ над агломератом обеспечивало наиболее высокую равномерность поступления материалов, чем при их размещении в нижней части бункера. При этом увеличение их доли так же отрицательно отражалось на равномерности их поступления в колошниковое пространство печи.

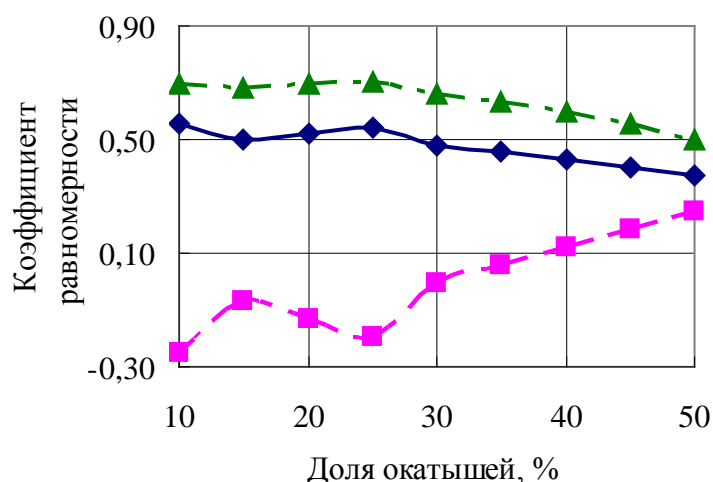


Рис. 2. Зависимость равномерности поступления компонентов шихты из бункера БЗУ от доли окатышей в железорудной части шихты при расположении их в среднем слое агломерата (—▲—), под ним (—■—), на нем (—◆—)

**Выводы:** Проведением планированного эксперимента на физической модели одно-трактового компактного загрузочного устройства, изготовленного в масштабе 1:5 по отношению к линейным размерам БЗУ доменных печей № 2, 4, и 6 ОАО “ММК”, установлено влияние последовательности загрузки агломерата и окатышей на равномерность их выхода из бункера. Наиболее высокий коэффициент равномерности поступления компонентов шихты в колошниковое пространство печи, равный 0,77 обеспечивали следующей загрузкой: вниз 68 % агломерата, затем окатыши в количестве 10 % от железорудной части шихты, после чего оставшиеся 32 % агломерата. При увеличении доли окатышей количество агломерата располагающегося под ними целесообразно уменьшать для обеспечения максимальной величины коэффициента равномерности.

## Список использованных источников

1. Влияние последовательности набора материала в бункер компактного БЗУ на эффективность работы доменной печи / А.В. Чевычелов, М.Н. Евстафьев, В.А. Бегинюк, С.К. Сибатуллин, Е.О. Теплых, А.С. Харченко // Черные металлы. Специальный выпуск 2012. С. 43–45.
2. Работа доменной печи с повышенным перепадом давления газа / Н.М. Крюков, В.С. Новиков, С.К. Сибатуллин [и др.]. Производство чугуна. Свердловск: УПИ, 1978. С. 79–84.
3. Анализ особенностей формирования порций и истечения материалов из бункера БЗУ при загрузке шихты / К.Б. Пыхтеева, С.А. Загайнов, Б.С. Тлеугабулов, В.В. Филиппов, Д.Л. Журавлев, Ф.П. Николаев // Сталь. 2008. № 6. С. 14–19.
4. Влияние различных факторов на равномерность распределения коксового орешка в колошниковом пространстве доменной печи, оснащенной БЗУ лоткового типа: межрегиональный сборник научных трудов «Теория и технология металлургического производства». № 10 / А.С. Харченко, С.К. Сибатуллин, Е.О. Теплых, Д.Н. Гущин. Магнитогорск, 2010. С. 33–38.
5. Поступление коксового орешка совместно с агломератом и окатышами из шихтового бункера БЗУ в колошниковое пространство доменной печи / А.С. Харченко, С.К. Сибатуллин, Н.П. Сысоев // Известия вузов. Черная металлургия. 2011. № 8. С. 18–19.
6. Истечение материалов из шихтового бункера лоткового загрузочного устройства доменной печи по видам крупности: межрегиональный сборник научных трудов «Теория и технология металлургического производства». № 9 / С.К. Сибатуллин, А.С. Харченко, С.И. Гаврюшкин, А.В. Чевычелов. Магнитогорск, 2009. С. 21–25.
7. Спирин Н.А. Лавров В.В. Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента: конспект лекций. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2004. 257 с.

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ХОЛОДИЛЬНЫХ АГЕНТОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ТЕПЛОВЫХ НАСОСАХ

Усенко А.Ю., Бикмаев С.Р.

*Национальная металлургическая академия Украины,  
г. Днепрпетровск, Украина*

В настоящее время для эффективного энергосбережения широко используются теплонасосные технологии производства теплоты. Стимулом для широкого практического использования тепловых насосов (ТН) является практически неограниченные ресурсы источников тепла низкого температурного потенциала, которые не являются ценными для прямого технологического использования.

К преимуществам применения теплонасосных установок (ТНУ) в системах теплоснабжения по сравнению с другими способами теплоснабжения следует отнести: экономичность (для передачи в систему отопления 1 кВт·ч тепловой энергии установке необходимо затратить всего 0,2 ÷ 0,35 кВт·ч электрической энергии); упрощенные требования к системам вентиляции помещений и высокий уровень пожарной безопасности (все системы функционируют с использованием замкнутых контуров и практически не требуют эксплуатационных затрат, кроме стоимости электроэнергии, необходимой для работы оборудования); возможность переключения с режима отопления на режим кондиционирования летом; надежность; компактность.

На рисунке 1 представлена принципиальная схема парокомпрессионного теплового насоса. Суть работы заключается в том, что при испарении хладагента в испарителе (И) отбирается низкопотенциальное тепло от источника теплоты. Полученные пары хладагента сжимаются в компрессоре (КМ), что приводит к повышению температуры хладагента до не-